



Středoškolská technika 2017

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

Praktické pozorování Jupitera

Pokus o reprodukci pozorování Galilea Galilei

Mathias Feuerstein

Lauderova MŠ, ZŠ a gymnázium při Židovské obci v Praze

Abstrakt

Hlavním cílem práce je zdokumentované praktické pozorování Jupitera a jeho měsíců, vybavením srovnatelným s vybavením Galilea Galilei.

Mezi další cíle patří identifikace pozorovaných měsíců a pokus o určení jejich základních charakteristik.

Práce zároveň obsahuje shrnutí Galileovo pozorování, popis jeho vybavení a přiblížení dnešních způsobů sledování Jupitera.

V rámci seminární práce proběhla čtyři úspěšná pozorování, která naplnila hlavní cíl práce. Další cíle byly naplněny pouze z části, vzhledem k nízkému počtu pozorování, příliš krátkému trvání pozorování a celkovému nedostatku interpretovatelných dat v dokumentaci.

Klíčová slova: pozorování, Jupiter, měsíce, Galileo Galilei

Abstract

The main aim of the thesis is a practical documented observation of Jupiter and its moons using equipment comparable with the one of Galileo Galilei.

Other aims include an identification of observed moons and an attempt to estimate their basic characteristics.

The thesis also includes a summary of Galileo's observations, description of his equipment and an insight into today's ways of observing Jupiter.

Within the duration of the seminar paper in total four successful observations were conducted, fulfilling the main goal. The other goals were met only partially mainly due to a small number of observations, a short duration of the observation and a general lack of interpretable data in the documentation.

Key words: observation, Jupiter, moons, Galileo Galilei

Obsah

Abstrakt	2
Úvod	4
1 Způsoby pozorování	5
2 Pozorování Galilea Galilei	6
2.1 Vybavení	6
2.2 Pozorování	6
3 Pozorování oblohy	8
3.1 Jupiter	8
3.2 Vybavení	8
3.3 Podmínky k pozorování	9
3.4 Porovnání s Galileem Galilei	10
4 Praktické pozorování	11
4.1 Postup	11
4.2 Dokumentace	12
4.3 Vlastní výsledky	15
5 Srovnání	16
6 Závěr	17
7 Zdroje	18

Úvod

Tato práce se zabývá pozorováním Jupitera a jeho měsíců, které objevil a popsal v 17. století italský astronom Galileo Galilei.

Hlavním cílem této seminární práce je zdokumentované praktické pozorování Jupitera a jeho měsíců za použití vybavení srovnatelného s vybavením Galilea Galilei. Dalším cílem je pokus o identifikaci měsíců a určení jejich základních charakteristik, například dobu oběhu nebo velikost velké poloosy dráhy.

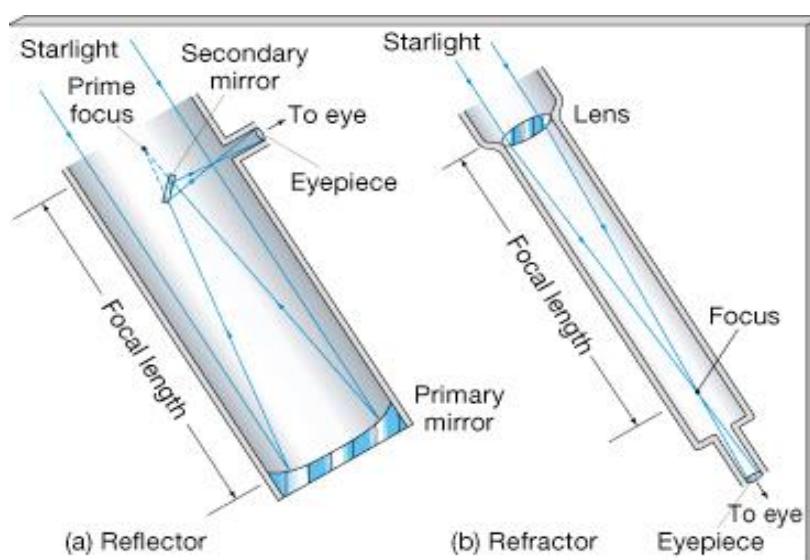
Dokumentace pozorování bude probíhat především podobou nákresů, pro které poslouží jako podklad Galileovy nákresy z jeho prvních pozorování z knihy *Hvězdný posel*.

V rámci práce bude zároveň popsán opakovatelný postup pozorování Jupitera. Tento postup může posloužit čtenáři jako návod k opakování celého pozorovacího procesu. Zároveň bude zaznamenána metoda dokumentace a její pozdější interpretace.

1 Způsoby pozorování

Způsobů pozorování objektů na noční obloze existuje dnes poměrně mnoho, ale všechny se zakládají na principu podobném tomu, který využíval Galileo. Primárním účelem každého teleskopu je pozorovaný objekt zvětšit a zvýšit jeho světelnost.

Dnes rozlišujeme zejména dva typy teleskopů - refraktory a reflektory (viz *Obrázek 1*). Refraktory¹ jsou dalekohledy využívající optického efektu soustavy čoček. Tento typ dalekohledu si sestrojil a využíval i Galileo.



Obrázek 1: Diagram Reflektivního (nalevo) a Refrakčního (napravo) teleskopu

Zdroj: School of Astronomy & Space Science – Optical Telescopes [online] [citováno 11. 5. 2016] dostupné na

<http://astronomy.nju.edu.cn/~lixd/GA/AT4/AT405/HTML/AT40501.htm>

V dnešní době je však kvůli náročné výrobě čoček používán zpravidla pouze u malých amatérských teleskopů nebo příručních dalekohledů.

Reflektory² využívají konkávního parabolického zrcadla, které k vytvoření zvětšeného obrazu odráží a soustředí světlo do jednoho bodu. Tento typ teleskopu je dnes rozšířenější a využívá se u výkonných pozemních i vesmírných vědeckých observatořích.

¹Refrakce nebo také lom světla je fyzikální jev při kterém je změněn směr světelného vlnění, který nastává na rozhraní dvou prostředí s odlišným indexem lomu.

²Reflektory, odvozené od slova reflexe znamenající světelný odraz

2 Pozorování Galilea Galilei

Roku 1564 se v italské Pise narodil Galileo Galilei. Již od mládí projevoval vysoký zájem o pochopení fyzikálních dějů kolem sebe. Za mnoho poznatků, které dnes považujeme za samozřejmé, vdčíme Galileově zvědavosti. Například po pozorování kmitů závěsné lampy, přišel s teorií, která dala vzniknout přesným kyvadlovým hodinám a poskytla podklad pro mnoho dalších odvětví dnešní fyziky.³

2.1 Vybavení

Galileo se začal věnovat astronomii potom co se v Holandsku několika optikům podařilo vytvořit přístroj, kterým lze pozorovat vzdálené objekty zvětšením obrazu za pomoci čoček. Rozhodl se proto vyrobit si vlastní, daleko silnější teleskop, se kterým začal sledovat noční oblohu. S teleskopy dnešní doby se však nedá zdaleka srovnávat. Galileův refrakční dalekohled dokázal zvětšit pozorovaný objekt téměř 30 krát. Naproti tomu zrcadlový dalekohled za pár set korun, který bude použit k pozorování v seminární práci, je schopný obraz zvětšit až 75 krát.⁴

2.2 Pozorování

S pozorování noční oblohy Galileo začal roku 1609 poté, co si sestrojil vlastní teleskop. Zpočátku se především věnoval studiu Měsíce, na kterém objevil krátery, hory a měsíční moře.⁵

Při jednom pozorování se Galilei rozhodl podívat teleskopem na Jupiter, vedle kterého ho zaujala trojice jasných hvězd seřazených v jedné linii. Učinil rychlý náskres tohoto úkazu. Další den, jak sám vzpomíná⁶, se rozhodl znovu podívat na trojici hvězd, které by podle dosavadních pozorování měly zůstat na stejném místě. K jeho překvapení je však nemohl nalézt, místo toho vedle Jupitera spatřil tři podobné hvězdy avšak v odlišné konstelaci ale stále v jedné linii. Dnes již víme, že se nejednalo o hvězdy, ale

³Bio. – Galileo Biography [online] [citováno 17. 12. 2016] dostupné na <http://www.biography.com/people/galileo-9305220>

⁴Universe Today – What is Galileo's telescope? [online] [citováno 18. 3. 2016] dostupné na <http://www.universetoday.com/15763/galileos-telescope/>

⁵Bio. – Galileo Biography [online] [citováno 17. 12. 2016] dostupné na <http://www.biography.com/people/galileo-9305220>

⁶GALILEI, Galileo a Johannes KEPLER. *Hvězdný posel*. Vydání první. Přeložil Alena HADRAVOVÁ. Příbram: Pistorius & Olšanská, 2016. ISBN 978-80-87855-38-6.

celkem o čtyři měsíce obíhající Jupiter. Galilea tento úkaz zaujal a několik dalších týdnů ho sledoval. Velmi brzy si uvědomil co pozoruje a nedlouho na to vydal pravděpodobně svoje nejpodstatnější dílo *Hvězdný posel*⁷, ve kterém popisuje pohyb Jupiterových měsíců a vyvozuje heliocentrickou sluneční soustavu.

⁷GALILEI, Galileo a Johannes KEPLER. *Hvězdný posel*. Vydání první. Přeložil Alena HADRAVOVÁ. Příbram: Pistorius & Olšanská, 2016. ISBN 978-80-87855-38-6.

3 Pozorování oblohy

Každé pozorování musí mít stanovenou svůj cíl. Tato seminární práce se bude zabývat Jupiterem, ale obdobné pozorovací metody lze využít i při pozorování jiných objektů na noční obloze.

3.1 Jupiter

Jupiter je největší planeta sluneční soustavy a čtvrtý největší objekt na obloze (po Slunci, Měsíci a Venuši). Má přibližně čtyřikrát větší vzdálenost od Slunce než Země, ale díky své velikosti je jeho pozorovatelnost stále dobrá.

Kolem Jupiteru obíhá alespoň 67 měsíců, avšak pouze čtyři z nich jsou běžně pozorovatelné teleskopem ze Země. Jedná se o Io, Europu, Ganyméda a Callisto – měsíce objevené Galileem.⁸ Během pozorování bude hlavním záměrem ze Země sledovat tyto měsíce a pokusit se určit jejich základní charakteristiky.

3.2 Vybavení

V rámci seminární práce bude využit běžně dostupný amatérský teleskop reflektor *Celestron – Firstscope telescope* se 76 mm zrcadlem (viz *Obrázek 2*). Součástí teleskopu jsou zároveň dvě použitelné čočky (s ohniskovou vzdáleností od čočky 20 mm a 4 mm). Využitím 4 mm čočky je teleskop schopný zvětšit pozorovaný objekt až 75krát. Teleskop nemá hledáček nebo paralaktickou montáž.

Dokumentace bude probíhat primárně ve formě nákresu soustavy Jupitera a jeho měsíců. Odhadnuté vzdálenosti těchto měsíců a jejich velikost bude zaznamenána ve vztahu s průměrem Jupitera. Dalším dostupným typem záznamu je fotodokumentace nebo promítnutí obrazu teleskopu na papír a jeho obkreslení.

⁸Wikipedia.org – Jupiter [online] [citováno 12. 3. 2016] dostupné na https://en.wikipedia.org/wiki/Galileo_Galilei



Obrázek 2: Teleskop využitý v rámci práce

Zdroj: Celestron – Firstscope Telescope [online] [citováno 11. 5. 2016] dostupné na <http://www.celestron.com/browse-shop/astronomy/telescopes/firstscope-telescope>

3.3 Podmínky k pozorování

Ke sledování Jupitera musí být splněny některé okolní optimální podmínky. Jedná se o:

Pozice Jupitera na obloze

Většina sledovatelných těles jsou příliš slabými světelnými zdroji aby mohly být pozorovány ve dne. Je proto potřeba pozorovat Jupiter během roku v době, kdy je jeho nejvyšší poloha na obloze uprostřed noci.

Oblačnost

Na sledovaný objekt musí být volný, nezakrytý výhled. Ideálním stavem je jasno, bez městského smogu nebo oparu. Oblačnost je ze všech potřebných faktorů nejméně předvídatelná a může být častým problémem při pozorování.

Světelné znečištění

Při pozorování objektů v noci může světelné znečištění představovat další

komplikace. Nejčastějším zdrojem takového znečištění je světlo vytvářené městem. Proto je ideální pozorovat mimo město, nejlépe ve vyšší nadmořské výšce. Kromě lidských zdrojů může světelné znečištění vznikat například při úplňku, nebo při zdánlivě malé vzdálenosti sledovaného tělesa a osvětleného Měsíce.

3.4 Porovnání s Galileem Galilei

Galileův teleskop byl v porovnání s dnešními velmi primitivní a přinášel mnoho problémů. Galileo si vyráběl své vlastní refrakční teleskopy a postupem času byl schopen vytvářet lepší a výkonnější dalekohledy.

Když roku 1610 sledoval Jupiter, byl jeho teleskop schopný zvětšit pozorovaný objekt až 30krát. Nedokonalý tvar čoček a primitivní způsob výroby však způsoboval mnoho optických nedokonalostí a problémů, se kterými se Galileo musel potýkat.⁹

Galileův refraktor trpěl kvůli špatnému zaoblení nebo zabroušení čoček malou ostroť obrazu, chromatickou aberací¹⁰ a kvůli své konstrukci především také malým zorným polem.¹¹

⁹Universe Today – What is Galileo's telescope? [online] [citováno 18.3.2016] dostupné na <http://www.universetoday.com/15763/galileos-telescope/>

¹⁰Chromatická aberace je optický jev způsobený nedokonalostí čočky. K jevu dochází kvůli odlišnému indexu lomu částí viditelného spektra.

¹¹AmazingSpace – Galileo's Refractor [online] [citováno 18.3.2016] dostupné na <http://amazingspace.org/resources/explorations/groundup/lesson/scopes/galileo/page3.php>

4 Praktické pozorování

Tato kapitola obsahuje metodu dokumentace pozorování a dokumentaci samotnou.

4.1 Postup

Při pozorování si bylo třeba stanovit reprodukovatelný postup k úspěšnému sledování tělesa. Tento postup byl vytvořen na základě předchozích zkušeností s pozorováním noční oblohy a Jupitera. Níže je popsán postup, který byl použit při pozorování v rámci této seminární práce.

1) Využitím mobilní nebo internetové aplikace, například volně dostupného programu Stellarium, je třeba zjistit na jaké světové straně a v jakém úhlu nad horizontem se Jupiter právě nachází.

2) S pomocí zjištěných dat je nutné identifikovat Jupiter na obloze. Typicky bílý silnější bod světla, který na rozdíl od hvězd nemihotá.

3) V závislosti na pozici Jupitera v rámci světových stran a jeho úhlem nad obzorem je potřeba postavit teleskop. Pokud je v příliš malém úhlu nad horizontem nebo v zákrytu překážky, je nutné teleskop umístit do vyšší polohy.

4) Teleskop je vizuálně orientován podobným směrem jako je Jupiter a je do něj vložena výkonnostně slabší 20 mm čočka.

5) Za patnáctinásobného zvětšení je nutné nalézt drobnými pohyby dalekohledu Jupiter a umístit ho do středu pozorovaného obrazu.

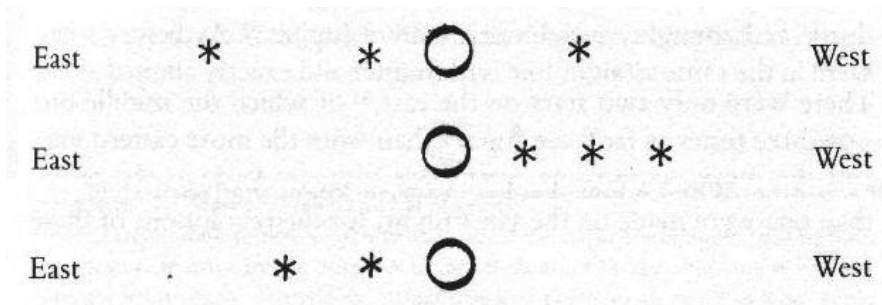
6) Po vycentrování Jupitera je čočka vyměněna za výkonnější 4 mm.

7) Pozorujeme a upravujeme orientaci teleskopu s měnící se pozicí Jupitera.

4.2 Dokumentace

Metoda dokumentace

Pro záznam praktického pozorování bylo využito především nákresu. Jako podklad pro vzhled dokumentace, posloužily Galileovy nákresy z knihy *Hvězdný posel*¹²



Obrázek 3: Galileovi nákresy,

Zdroj: GALILEI, Galileo a Johannes KEPLER. *Hvězdný posel*. Vydání první. Přeložil Alena HADRAVOVÁ. Příbram: Pistorius & Olšanská, 2016. ISBN 978-80-87855-38-6.

(viz Obrázek 3).

Při pozorování je nejdříve vytvořen prvotní nákres viditelných těles. Jako první je překreslen Jupiter spolu s orientací jeho náklonu, který je shodný s náklonem celé soustavy. Poté jsou postupně překreslovány viditelné měsíce. Jejich vzdálenost od povrchu Jupitera je odhadnuta v počtu průměrů Jupitera (d_{J}), jakožto jediné dostupné míry vzdálenosti.

Po prvotním nákresu se přenese obraz na čtverečkovaný papír, ve kterém vzdálenosti získají správné měřítko. Při tomto přenesení je zároveň nutné zrcadlově převrátit celý nákres, jelikož teleskop zobrazuje obraz převráceně.

Během pozorování proběhl zároveň i pokus o přímou fotodokumentaci, avšak kvůli množství technických problémů, nebyl úspěšný.

Pozorování 14. 1.

První pozorování je neúspěšné, kvůli oblačnosti. I přes dobrou předpověď je obloha nadmíru zatažená a Jupiter nelze vidět.

¹²GALILEI, Galileo a Johannes KEPLER. *Hvězdný posel*. Vydání první. Přeložil Alena HADRAVOVÁ. Příbram: Pistorius & Olšanská, 2016. ISBN 978-80-87855-38-6.

Pozorování 19. 1.

Při druhém pozorování ve 3:30 je viditelnost lepší. Jupiter je na obloze vidět. Bohužel Jupiterovi měsíce jsou zakryty ve světelném oparu velmi jasného Měsíce, který má tento den polohu velmi blízko Jupiteru. Pozorování je tak neúspěšné.

Pozorování 25. 2.



Obrázek 4: Pozorování 25. 2. 1:50

Zdroj: Autor

První úspěšné pozorování Jupitera a jeho měsíců.

Na nákresu (viz Obrázek 4) jsou vidět pouze tři měsíce označené a_1 , b_1 a d_1 . Třetí měsíc c_1 je právě před nebo za Jupiterem a není tak vidět. Nejvzdálenější měsíc d_1 je v tomto nákresu vzdálen přibližně pětinasobek Jupiterova průměru (d_{J}).



Obrázek 5: Pozorování 25. 2. 4:15

Zdroj: Autor

Na druhém nákresu (viz Obrázek 5), který byl pořízen o více jak dvě hodiny později, můžeme vidět už všechny čtyři měsíce, jelikož měsíc c_2 vyšel ze zákrytu Jupitera. Zároveň můžeme sledovat pohyb, které vykonaly měsíce ostatní. Satelity zde označené a a b se posunuly zdánlivě více na východ o zhruba jeden poloměr Jupitera. Měsíc d se mezitím posunul směrem na západ přibližně o vzdálenost jednoho průměru (d_{J}).

Díky dnešním znalostem je již možné blíže identifikovat měsíc d jako Ganymed nebo Callisto a to na základě jejich největší možné vzdálenosti od Jupitera (7krát d_{J} a 13krát

d₂).

Pro identifikaci ostatních měsíců by bylo třeba četnější a pravidelnější pozorování, které by jasně ukázalo maximální zdánlivé vzdálenosti od Jupitera.

Pozorování 26. 2.

Další pokus o pozorování probíhá následující noc ve 2 hodiny ráno. Od rychle



Obrázek 6: Pozorování 26. 2. 2:00

Zdroj: Autor

navazujícího dalšího sledování je očekávána jasnější identifikace všech měsíců.

Satelity a_3 , b_3 , c_3 (viz *Obrázek 6*) se ve své poloze v *Obrázku 6* liší oproti polohám a_2 , b_2 , c_2 v *Obrázku 5* příliš mnoho na to aby se daly spárovat a vyvodit tak jejich pohyb kolem Jupitera. Jediný identifikovatelný měsíc je d_3 , který se oproti předešlému dni posunul zhruba o dvojnásobek d₂ na západ.

Pozorování 27. 2.

Poslední úspěšné pozorování proběhlo 27. února.



Obrázek 7: Pozorování 27. 2. 1:30

Zdroj: Autor

Všechny satelity (viz *Obrázek 7*) znovu změnili svoji polohu příliš, na to aby se z nich dala vyvodit jejich předchozí dráha.

Měsíc a_4 , na *Obrázku 7* vzdálen 9krát d_{\oplus} východně od Jupitera, je jasně identifikovatelný jako Callisto, jelikož žádný z ostatních měsíců není nikdy vzdálen od Jupitera v této míře.

4.3 Vlastní výsledky

Čtyři úspěšná pozorování naplnila hlavní cíl práce zdokumentovaného praktického pozorování Jupitera a jeho měsíců.

Při sledování se podařilo identifikovat Callisto a částečně identifikovat jeden další měsíc.

Z pozorování vyplývá že k bližší identifikaci měsíců a odhadu jejich základních charakteristik je potřeba větší množství rychle po sobě jdoucích pozorování. Zároveň je třeba pokusit se v budoucích sledováních odlišit měsíce dalšími způsoby, například záznamem jejich jasnosti nebo přesnější dokumentací jejich polohy.

5 Srovnání

Galileo Galilei byl schopný během svých pozorování identifikovat všechny čtyři měsíce, určit jejich oběžnou dráhu a odhadnout jejich další vlastnosti, které jsou nám dnes běžně dostupné.

Podařilo se mu to díky dlouho trvajícím pozorování a detailnějším a přesnějším záznamu. Galileo dokumentoval přesně vzdálenosti a pozice měsíců, které mu v kombinaci se záznamem odlišné jasnosti měsíců umožnily jednodušší a efektivnější identifikaci satelitů.

Vzhledem k tomu že Galileovo pozorování trvalo téměř rok, bylo pozorování v této práci příliš krátké a málo četné, aby z něj bylo možné vyvozovat podobné výsledky, jako vyvodil Galileo z toho svého.

Galileo používal k záznamu svých pozorování nákresy, které s postupem času zdokonaloval. V porovnání s nákresy, které byly použity v rámci seminární práce, jsou ta jeho v mnoha ohledech preciznější a mají větší hodnotu k pozdější interpretaci především díky záznamu jasnosti měsíců.

Během práce mělo být pozorování zaznamenáváno kromě nákresů i fotodokumentací. Avšak teleskop, který byl využíván k pozorování, nebyl uzpůsobený k montáži fotoaparátu a tak bylo soustředění obrazu z čočky teleskopu do objektivu fotoaparátu velmi složité a zdouhavé jelikož vyžadovalo manipulaci se stativem. Zároveň musel fotoaparát být umístěn v konkrétní vzdálenosti od teleskopu, jinak byl obraz rozostřen. Kvůli otáčení země je také třeba stále upravovat orientaci teleskopu a tak se i při teoreticky úspěšném soustředění obrazu do fotoaparátu a správnému zaostření doba použitelná na focení pohybuje pouze kolem desítek vteřin.

6 Závěr

Hlavním cílem této seminární práce bylo zdokumentovat pozorování Jupitera a jeho měsíců, toto pozorování zdokumentovat za použití vybavení srovnatelného s tím Galilea Galilei. Tento cíl práce byl splněn.

Druhý cíl, pokus o identifikaci měsíců, byl splněn pouze částečně. Důvodem pouze částečného splnění byl nedostatek dat v dokumentaci způsobený příliš krátkým pozorováním. K identifikaci měsíce Callisto, který byl jako jediný v práci jednoznačně identifikován, napomohly dnes dostupné informace o oběžných drahách měsíců Jupitera. Stejným způsobem byl identifikován i měsíc Ganymed, u kterého ale není identifikace jednoznačná.

Základní charakteristiky měsíců nebyly určeny vůbec z důvodu nedostatku dat.

Práce ukázala, že je možné pozorovat a identifikovat měsíce Jupitera vybavením srovnatelným s tím Galilea Galilei. K lepší a úspěšné identifikaci a určení základních charakteristik měsíců je třeba více a déle trvajících pozorování, v řádu několika měsíců. Zároveň by bylo pro přesnější výsledky vhodnější použít přesnější způsob dokumentace, například fotodokumentace.

7 Zdroje

AmazingSpace – Galileo's Refractor [online] [citováno 18. 3. 2016] dostupné na <http://amazingspace.org/resources/explorations/groundup/lesson/scopes/galileo/page3.php>

Bio. – Galileo Biography [online] [citováno 17. 12. 2016] dostupné na <http://www.biography.com/people/galileo-9305220>

Celestron – Firstscope Telescope [online] [citováno 11. 5. 2016] dostupné na <http://www.celestron.com/browse-shop/astronomy/telescopes/firstscope-telescope>

GALILEI, Galileo a Johannes KEPLER. *Hvězdný posel*. Vydání první. Přeložil Alena HADRAVOVÁ. Příbram: Pistorius & Olšanská, 2016. ISBN 978-80-87855-38-6.

HyperPhysics – Chromatic Aberration [online] [citováno 11. 5. 2016] dostupné na <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/geoopt/aber2.html>

HyperPhysics – Refraction of Light [online] [citováno 8. 5. 2016] dostupné na <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/geoopt/refr.html>

School of Astronomy & Space Science – Optical Telescopes [online] [citováno 11. 5. 2016] dostupné na <http://astronomy.nju.edu.cn/~lixd/GA/AT4/AT405/HTML/AT40501.htm>

The Galileo Project – Making a Galilean Telescope [online] [citováno 17. 12. 2016], dostupné na http://galileo.rice.edu/lib/student_work/astronomy96/mtelescope.html

Universe Today – What is Galileo's telescope? [online] [citováno 18. 3. 2016] dostupné na <http://www.universetoday.com/15763/galileos-telescope/>

Wikipedia.org – Galileo Galilei [online] [citováno 17. 12. 2016] dostupné na https://en.wikipedia.org/wiki/Galileo_Galilei

Wikipedia.org – Jupiter [online] [citováno 12. 3. 2016] dostupné na https://en.wikipedia.org/wiki/Galileo_Galilei